МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 631.363.28. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-171-178

Процесс формирования компактов*

Ю. В. Подкользин[1], Л. М. Авласенко[2], И. М. Пешхоев[3]**
[1,2,3]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Compacts formation process***

Yu. V. Podkolzin[1], L. M. Avlasenko[2], I. M. Peshkhoev[3]**
[1,2,3] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Введение. Биомасса используется в качестве продовольствия, для приготовления кормов, получения энергии. Это дисперсный материал, характеризуемый высокой пористостью и низкой плотностью, что вызывает неудобства в его использовании. Поэтому для улучшения технологических свойств биомассу подвергают уплотнению с приданием определенной формы компактам (брикетам, гранулам и др.).
Материалы и методы. Рассматривается процесс уплотнения биомассы в компакты. Показано, что сопротивление дисперсных материалов уплотнению, к которым относится и биомасса, определяется структурно-механическими свойствами уплотняемого материала — структурной прочностью, внутренним трением, давлением связности, прочностью частиц материала и прочностью связей между частицами. Теоретическими исследованиями определены взаимосвязи между всеми характеристиками сухой биомассы, которые легли в основу методики расчета машин для формирования биомассы в компакты.
Результаты исследования. Разработана методика, позволяющая определять основные параметры пресса с кольцевыми матрицами исходя из предъявляемых к компактам требований и структурно-механических свойств уплотняемого материала. Методика рекомендуется для проектирования машин, обеспечивающих формирование биомассы в компакты с заданными свойствами
Обсуждение и заключения. Полученные закономерности могут быть использованы при проектировании прессов для производства компактов с заданными свойствами.

Introduction. Biomass is used as foodstuff, for feed making, and for energy production. This is a dispersed material characterized by high porosity and low density, which is poorly adapted for use. Therefore, to improve its processability, biomass is subjected to compaction to shape compacts (feed wafers, granules, etc.).
Materials and Methods. The process of packing biomass in compacts is considered. It is shown that the resistance of dispersed materials to compaction, which includes biomass, is determined by the structural and mechanical properties of the material compacted – structural strength, internal friction, connectivity pressure, strength of the material particles, and bond strength between particles. Theoretical studies have determined the relationships between all the characteristics of dry biomass which form the basis for calculating machines for shaping biomass in compacts.
Research Results. A technique is developed that allows determining the critical parameters of the press with ring dies due to the requirements for the compacts and structural and mechanical properties of the material compacted. The technique is recommended for designing machines providing the formation of biomass in compacts with specified properties.
Discussion and Conclusions. The obtained patterns can be used under designing presses for the production of tailored compacts.

Ключевые слова: уплотнение, компактирование, биомасса, матрица, пресс с кольцевой матрицей.

Keywords: compaction, biomass, matrix, press with ring dies.

Образец для цитирования: Подкользин, Ю. В. Процесс формирования компактов / Ю. В. Подкользин, Л. М. Авласенко, И. М. Пешхоев // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т.18, №2. — С.171–178. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-171-178

For citation: Yu. V. Podkolzin, L. M. Avlasenko, I. M. Peshkhoev. Compacts formation process. Vestnik of DSTU, 2018, vol. 18, no.2, pp. 171–178. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-171-178

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
** E-mail: podkol45@yandex.ru, Avlas333@mail.ru peshkhoev@rambler.ru
*** The research is done within the frame of the independent R&D.



Введение. Биомасса — это все возобновляемые за короткое время органические материалы. Биомасса используется в качестве продовольствия, для приготовления кормов, получения энергии. Биомасса относится к дисперсным материалам, характеризуемым высокой пористостью, т.е. низкой плотностью, что вызывает неудобства в ее использовании. Поэтому для улучшения технологических свойств ее подвергают уплотнению, с приданием определенной формы компактам (брикетам, гранулам и др.). Помимо повышения транспортабельности, обеспечиваемой за счет уплотнения биомассы, обеспечивается получение и других полезных свойств. Например, гранулирование комбикормов обеспечивает сохранность рецептуры кормов при хранении и скармливании животным, повышение питательности кормов и увеличение их скармливаемости (на 20% больше, чем рассыпных). Использование биомассы в виде компактов из опилок обеспечивает улучшение экологии за счет сокращения площади свалок, позволяет получать новый продукт — топливные гранулы, которые могут являться заменителями угля, причем без нанесения ущерба окружающей среде.

Целью настоящей работы является разработка методики расчета пресса-гранулятора с кольцевой матрицей, учитывающей весь комплекс факторов, действующих при работе этой машины.

Материалы и методы. Расширение производства компактов из биомассы вызвало значительный интерес к созданию конструкций машин для производства компактов. В трудах [1–5] разработаны методики определения отдельных параметров этих машин, но целостная методика расчета их конструктивных и технологических параметров пока не создана. Это не гарантирует эффективность использования новых машин при производстве компактов из различных видов биомассы. Поэтому предпринята попытка разработки методики, учитывающей весь комплекс факторов, действующих при работе машин. При анализе технологического процесса использовались методы, разработанные в механике грунтов [6], теории обработки материалов давлением [7], сельскохозяйственном машиностроении [1, 8].

Результаты исследования. Для получения гранул в основном применяются прессы с кольцевыми матрицами, обеспечивающие непрерывность процесса формирования. В процессе уплотнения происходит изменение состояния дисперсного материала — из рассыпного он превращается в монолитное тело, обладающее новыми характеристиками. Под действием внешнего давления *p* происходит изменение плотности дисперсного материала ρ и его структурно-механических свойств — внутреннего и внешнего трения, коэффициента бокового давления $\xi = dq/dp$, сцепления τ_0, структурной прочности:

$$p_{стр} = 2\,\tau_0 \cos\ /\left(1-\sin\varphi\ \right)$$

где φ — угол внутреннего трения материала.

Структурная прочность — это прочность внутренних связей между частицами дисперсного тела. Деформации до преодоления структурной прочности незначительны и обратимы. При нагрузке, превышающей структурную прочность, связи между частицами нарушаются, они перемещаются относительно друг друга и начинается уплотнение. При этом на стенки камеры прессования начинает действовать боковое давление.

Боковое давление на стенки камеры прессования при уплотнении материала возникает не сразу, а только после достижения давлением *p* величины, равной структурной прочности материала

$$q = \xi(p - p_{стр}).$$

То есть боковое давление при уплотнении определяется только частью внешнего давления *p*, превышающего структурную прочность материала при сжатии.

График изменения бокового давления от осевого при уплотнении и разгрузке показан на рис.1. Экспериментальная зависимость при нагружении представлена пунктирной линией. Криволинейный характер зависимости свидетельствует о том, что при уплотнении материала его свойства непрерывно меняются. Касательная, проведенная к кривой в точке максимального нагружения, наклонена к оси абсцисс под углом, тангенс которого равен коэффициенту бокового давления при максимальном нагружении и отсекает на оси абсцисс отрезок, равный структурной прочности материала $p_{стр}$. При дальнейшей разгрузке и повторном приложении нагрузки значения этих показателей сохраняются.

Если при нагружении внутреннее трение препятствует деформации, и, следовательно, уменьшает боковое давление, передаваемое на стенки камеры уплотнения, то при разгрузке внутреннее трение препятствует расширению уплотненного материала. Поэтому уменьшение давления *p* не ведет к уменьшению бокового давления до тех пор, пока касательные напряжения не уменьшатся на величину, равную величине напряжений начального сдвига $\Delta\tau = \tau_н$.

С учетом изменения знака касательных напряжений, зависимость бокового давления *q* от внешнего *p* для второго этапа разгрузки имеет вид:

$$q = \xi\left(p + p_{стр}\right) = \xi\, p + q_0$$

где $q_о = \xi p_{стр}$ — остаточное боковое давление.

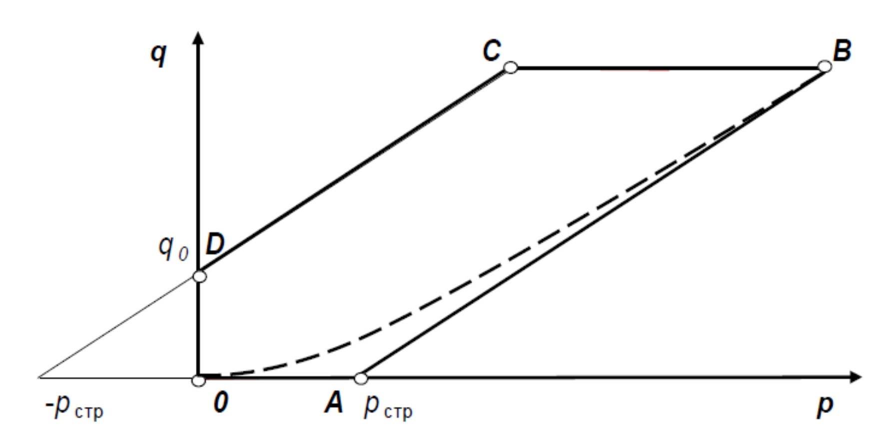


Рис.1. Зависимость бокового давления *q* от осевого *p* при уплотнении
(экспериментальная зависимость: начальное нагружение *0B,*
теоретическая зависимость — линия *0AB,* разгрузка — линия *BCD*)

Fig.1. Dependence of lateral pressure q on axial p under compaction
(observed dependence: initial loading OB, theoretical dependence – line OAB, unloading – line BCD)

При разгрузке боковое давление не изменяется до тех пор, пока внешнее давление не уменьшится на величину $2p_{стр}$ от начального значения. Затем боковое давление понижается до значения остаточного бокового давления.

Уравнение, связывающее приложенное давление и плотность (или пористость) уплотняемого материала, названо Мельниковым С. В. «основным уравнением прессования» [9].

Многочисленными исследователями предложены различные математические зависимости для описания этого процесса. Особов В. И., проанализировав работы предшествующих исследователей, установил, что все раннее полученные зависимости имеют недостатки и высказал гипотезу о закономерности процесса сжатия сено-соломистых материалов [1]. На основе этой гипотезы теоретически получено уравнение, связывающее плотность уплотненного материала с давлением, необходимым для получения этой плотности:

$$p = C(e^{a(\rho - \rho_0)} - 1) \tag{1}$$

где ρ_0 — начальная плотность материала; *C, a* — эмпирические коэффициенты.

Коэффициенты *C* и *a* в формуле (1) не имеют четкого физического смысла [9], что приводит при пользовании этой формулой к ошибкам и неверным выводам. Например, Яговкин П. В. делает заключение, что чем выше начальная плотность материала, тем меньшее давление необходимо для его уплотнения до одинаковой плотности [10]. Однако, как свидетельствует опыт, для достижения одной и той же плотности компакта, независимо от начальной плотности уплотняемого материала, к нему необходимо приложить одно и тоже давление. Кроме того, из формулы следует, что при изменении давления на некоторую величину происходит соответствующее изменение и плотности материала. Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что пока давление не превысит структурную прочность материала $p_{стр}$ его уплотнения, появление необратимых изменений его пористости не произойдет [6]. Также очевидно, что плотность материала при уплотнении не может превысить плотность составляющих его частиц. Однако из приведенной выше формулы этого явно не следует.

Увеличение внешнего давления приводит не только к уменьшению пористости дисперсного материала, но и к увеличению числа контактов между частицами, увеличению прочности связей. Поэтому для осуществления уплотнения необходимо к телу прикладывать все большее и большее давление.

При уплотнении дисперсного материала приращение внешнего давления *dp* пропорционально его прочности σ_s и изменению его пористости $d\Pi$:

$$dp = -\alpha \sigma_s d\Pi \tag{2}$$

где α — коэффициент пропорциональности.

Предел текучести σ_s, согласно теории Мизеса Р. [11], равен интенсивности напряжений, т.е. $\sigma_s = p - q$.

При нагружении $q = \xi(p - p_{стр})$. После подстановки значений в формулу (2) и решения получим:

$$p = \frac{p_{стр}}{1-\xi}\left(e^{\alpha^{(1-\xi)}\left(\Pi_0 - \Pi\right)} - \xi\right) \quad (3)$$

где Π_0 — начальная пористость дисперсного материала

Поскольку пористость $\Pi = 1 - \rho/\rho_т$, где ρ — плотность материала, $\rho_т$ — плотность частиц материала, последнее выражение можно представить в виде:

$$p = C\left(e^{a\left(\rho\text{-}\rho_0\right)} - \xi\right) \quad (4)$$

где $a = \alpha(1-\xi)$, $C = p_{стр}/(1-\xi)$.

Полученное выражение (4) учитывая, что значения коэффициента бокового давления не могут превышать единицу, практически полностью совпадает с уравнением (1). Однако коэффициенты обретают физический смысл: коэффициент C характеризует сопротивляемость материала уплотнению, коэффициент a — интенсивность изменения внешнего давления.

Задаваясь значением необходимой плотности компакта, определяется максимальное давление уплотнения. Регулировка давления в прессах осуществляется изменением длины канала.

Длина канала прессования, обеспечивающая необходимое давление на входе, определится по формуле [9]:

$$L = \frac{s}{\xi f u} ln\left(\frac{p_{max}}{p_{стр}} + 1\right) \quad (5)$$

где s — площадь поперечного сечения канала, u — периметр поперечного сечения канала, f — коэффициент трения материала о стенки канала.

Если длина канала получается большой, то в начале канала рекомендуется выполнять предкамеру.

Уплотнение в прессах осуществляется не только за счет сопротивления канала, но также на перемычках матрицы между каналами. Первоначальное уплотнение осуществляется на всей поверхности матрицы, которая на этом этапе может рассматриваться сплошной. С учетом упругости материала, ранее запрессованного в каналы, при повышении нагрузки происходит его упругая деформация, вследствие чего уплотнение новой порции материала осуществляется на упругом основании. Это снижает интенсивность возрастания давлений в конце этапа уплотнения материала — вогнутая кривая зависимости давления от высоты слоя уплотняемого материала (рис. 2) получает перегиб (точка *B)* и становится выпуклой.

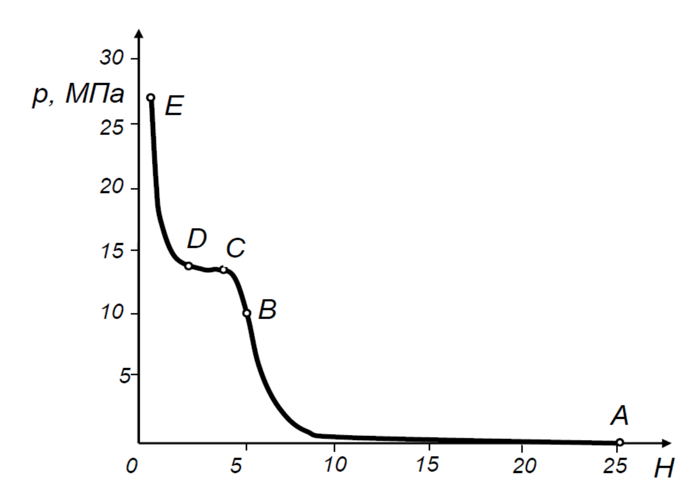


Рис. 2. Зависимость давления от высоты слоя материала
при продавливании через перфорированную поверхность

Fig. 2. Dependence of pressure on layer height of material
when pressing through perforated surface

На новых матрицах эти перемычки выполнены плоскими, вследствие чего с них затруднено сталкивание материала в каналы.

Дальнейшее повышение давлений в зоне прессования при уплотнении материала приводит к преодолению противодавления каналов p_m и в них начинает проталкиваться материал, находящийся

непосредственно над каналами. Таким образом начинается первая стадия процесса продавливания.

Под действием разности давлений, действующих над перемычками и каналами, нарушается предельное равновесие материала, находящегося на перемычках, и последний начинает стекать в каналы по площадкам сдвига. Эта стадия процесса продавливания происходит при постоянном давлении. Однако, для части материала, ограниченной площадками сдвига материала и плоскостью перемычек (жесткое ядро АВС, рис.3), сдвиг затруднен.

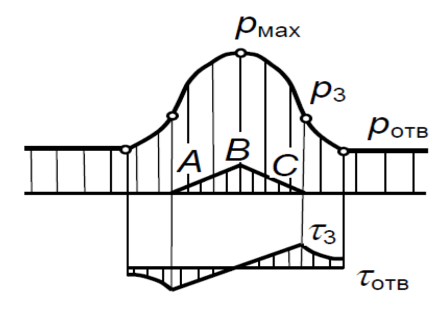


Рис. 3. Распределение давлений прессования и касательных напряжений на перемычках между каналами при продавливании (*ABC* — жесткое ядро на перемычке, $p_{отв}$ — давление над отверстиями, $p_{мах}$ — максимальное давление на перемычке, $\tau_з$ — касательные напряжения на перемычке)

Fig. 3. Distribution of compacting pressures and tangential stresses on bridges between channels under forcing (ABC – rigid core on the bridge, $p_{отв}$ – pressure above holes, $p_{мах}$ – maximum pressure on bridge, τ_3 – tangential stresses on bridge)

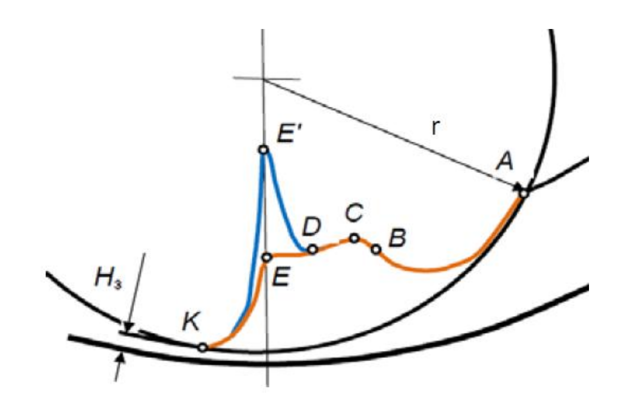


Рис. 4. Распределение давлений в зоне прессования в прессе с кольцевой матрицей: ABCDEK — при выполнении перемычек матрицы плоскими; ABCDE'K — при выполнении перемычек матрицы наклонными; $H_з$ — толщина слоя, напрессованного на рабочей поверхности матрицы

Fig. 4. Pressure distribution in compacting zone in press with ring die: ABCDEK — when matrix jumpers are flat; ABCDE'K — when executing matrix jumpers are oblique; H_3 — thickness of layer pressed on matrix working face

На второй стадии продавливания, когда расстояние между рабочими органами становится меньше высоты жесткого ядра образованного на перемычках матрицы (рис. 3), происходит резкий рост давления (рис. 4, кривая *DE'*), значительно превышающий противодавление каналов. Таким образом, давление в рабочей зоне определяется не только противодавлением каналов матрицы, но и сопротивлением перфорированной поверхности матрицы. Среднее значение давлений в зоне проталкивания составит:

$$p_{пр} = p_{отв}\left(1+\frac{2}{3}\frac{f}{\xi_0 \operatorname{tg}\alpha_н}\left(1-k_п\right)\right), \qquad (6)$$

где $k_п$ — коэффициент перфорации матрицы, $\alpha_н$ — угол наклона площадок сдвига.

Величину максимальных давлений, действующих на второй стадии продавливания, можно регулировать величиной зазора, устанавливаемого между рабочими органами пресса — чем больше зазор, тем меньше давление, действующее на перемычках.

Если зазор между рабочими органами пресса устанавливать бóльшим, чем формируется высота жесткого ядра, то вторая фаза продавливания, характеризующаяся высокими давлениями, будет отсутствовать. Однако при большой величине зазора на поверхности матрицы образуется толстый напрессованный слой материала, на повторное сжатие которого затрачивается значительная часть энергии. Это приводит к снижению производительности пресса, сильному износу вальцов, вследствие их проскальзывания, и

измельчению материала.

Следует отметить, что сказанное относится к новым матрицам, имеющим плоские перемычки между каналами. При эксплуатации за счет износа перемычки приобретают наклон в сторону входа в каналы. На наклонной перемычке зона застоя образоваться не может. Вследствие этого исключается вторая стадия продавливания. В результате условия сталкивания материала в каналы облегчаются, снижаются действующие усилия прессования, уменьшается энергоемкость процесса.

Предлагается такие наклонные перемычки выполнять с помощью конических углублений на поверхности матрицы, причем вершина образующего конуса лежит в пределах отверстия матрицы, а радиус бóльшего основания образующего конуса равен расстоянию от точки, равноудаленной от центров трех соседних отверстий. При таком выполнении рабочей поверхности матрицы все площадки оказываются наклоненными в сторону отверстия, облегчаются условия проталкивания материала через перфорированную поверхность, что позволяет снизить действующие давления и уменьшить, тем самым, энергозатраты на прессование и износ матрицы.

Плотность компактов зависит не только от действующего давления, но и от времени выдержки компакта под давлением. Необходимая рабочая площадь матрицы, определяющая необходимое время выдержки, определится по формуле:

$$F = k_{vs}\frac{Qt}{k_n L\rho_{cp}}, \quad (7)$$

где Q — производительность матрицы пресса; $\rho_{ср}$ — средняя плотность материала, находящегося в канале, k_{vs}= 1,5–2,5 — коэффициент неравномерности распределения материала по поверхности матрицы, t — время пребывания материала в канале матрицы.

Исследованиями установлено, что оптимальной является двухвальцовая схема пресса [10], что определяет отношение радиуса вальца r к радиусу матрицы R. С учетом конструктивных соображений отношение r/R принимается равным 0,40–0,48.

Практикой установлено, что толщина катка вальца, необходимая для обеспечения достаточной жесткости, должна быть равной $t_k=\lambda_1 r$, где λ_1 = 0,25–0,35.

Зависимость ширины вальца B от его радиуса r запишется в виде:

$$\psi = B / r > 2(1-\lambda_1)(2+\lambda_a)\lambda_n, \quad (8)$$

где для подшипников средней широкой серии значение $\lambda_п$ = 0,33–0,38, λ_a = 0,24–0,28.

С учетом значения r/R может быть определен радиус матрицы пресса:

$$R = \sqrt{\frac{F}{2\pi\pi\left(\frac{r}{R}\right)}} \quad (9)$$

После определения R, используя ранее выбранные значения ψ и r/R, определяются радиус и ширина вальца:

$$r = (r / R)R, \; B = \psi r \quad (10)$$

Максимальную частоту вращения матрицы пресса можно определить по формуле:

$$n_{max} \le \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{[\sigma]}{\rho l\left[\frac{R}{4k_n}\left(\frac{R}{r}-1\right)+R+L+\frac{l}{2}\right]}}, \quad (11)$$

где $[\sigma]$ — допустимая прочность гранул на разрыв, Па; l — длина гранул.

Суммарная сила прессования, действующая на рабочие органы пресса, определится по формуле:

$$P = P_1 cos\alpha_1 + P_2 cos\alpha_2 + P_3 cos\alpha_3 \quad (12)$$

где P_1 — равнодействующая давлений, действующих в зоне уплотнения; P_2 — равнодействующая давлений в зоне проталкивания; P_3 — равнодействующая давлений в зоне упругого расширения материала; α_1 — угловая координата наклона равнодействующей давления уплотнения; α_2 — угловая координата равнодействующей давлений проталкивания; α_3 — угловая координата равнодействующей давлений в зоне упругого расширения.

Мощность N, необходимая для осуществления рабочего процесса пресса, определится по формуле:

$$N = 2\pi nz(R-r)(P_1 sin\alpha_1 + P_2 sin\alpha_2 - P_3 sin\alpha_3), \quad (13)$$

где z — число вальцов, n — частота вращения матрицы.

Далее определяется мощность двигателя, используемого для привода пресса:

$$N_{дв} = 1{,}25N / \eta, \qquad (14)$$

где η — коэффициент полезного действия трансмиссии пресса, множитель 1,25 — коэффициент запаса мощности двигателя пресса.

Обсуждение и заключения. Предлагаемая методика позволяет определять основные параметры пресса с кольцевыми матрицами исходя из предъявляемых к компактам требований, структурно-механических свойств уплотняемого материала и рекомендуется для проектирования машин, обеспечивающих формирование биомассы в компакты с заданными свойствами.

Библиографический список

1. Особов, В. И. Машины для брикетирования растительных материалов / В. И. Особов. — Москва : Машиностроение, 1971. — 112 с.

2. Подкользин, Ю. В. К обоснованию конструктивной схемы пресса для гранулирования и брикетирования кормов / Ю. В. Подкользин // Записки ЛСХИ. — 1976. — Т. 290. — С. 42–46.

3. Milan Tica, Milosav Djurdjevic. Theoretical analysis of the dominant construction-technological parameters of the lumber scrap pelleting systems from the aspect of the optimal main function of the system. Machine Design (2007). ISBN 978-86-7892-038-7. pp. 435-438.

4.Wolfgang Stelte, Jens K. Holm, Anand R. Sanadi, Søren Barsberg, Jesper Ahrenfeldt and Ulrik B. Henriksen. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. Fuel. Volume 90, Issue 11, November 2011, pp. 3285– 3290

5. Abedin Zafari, Mohammad Hossein Kianmehr, Rahman Abdolahzadeh. Modeling the effect of extrusion parameters on density of biomass pellet using artificial neural network. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture (2013). ISSN: 2195-3228

6. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. — Москва : Высшая школа, 1979. — 272 с.

7. Сторожев, С. В. Теория обработки металлов давлением / Е. В. Сторожев, Е. А. Попов. — Москва : Машиностроение, 1976. — 424 с.

8. Подкользин, Ю. В. Формирование компакта в канале матрицы пресса / Ю. В. Подкользин // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. — №9. — С. 43–44.

9. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. — Ленинград : Колос, 1978, —560 с.

10. Яговкин, П. В. Разработка, исследование и обоснование непрерывного рабочего процесса штемпельного брикетного пресса: автореф. дис. …канд. техн. наук / П. В. Яговкин. — Ленинград-Пушкин, 1982, — 16 с.

11. Федоренко, И. Я. Альтернативная теория прессования кормов / И. Я. Федоренко // Вестник Алтайского государственного университета. — 2013. — №3. — С.95–98.

References

1. Osobov, V.I. Mashiny dlya briketirovaniya rastitel'nykh materialov. [Machines for briquetting plant materials.] Moscow: Mashinostroenie, 1971, 112 p. (in Russian).

2. Podkolzin, Yu.V. K obosnovaniyu konstruktivnoy skhemy pressa dlya granulirovaniya i briketirovaniya kormov. [To validation of constructive scheme of press for pelletizing and briquetting feeds.] Zapiski LSKhI, 1976, vol. 290, pp. 42–46 (in Russian).

3. Milan Tica, Milosav Djurdjevic. Theoretical analysis of the dominant construction-technological parameters of the lumber scrap pelleting systems from the aspect of the optimal main function of the system. Machine Design (2007). ISBN 978-86-7892-038-7. pp. 435-438.

4.Wolfgang Stelte, Jens K. Holm, Anand R. Sanadi, Søren Barsberg, Jesper Ahrenfeldt and Ulrik B. Henriksen. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. Fuel. Volume 90, Issue 11, November 2011, pp. 3285– 3290.

5. Abedin Zafari, Mohammad Hossein Kianmehr, Rahman Abdolahzadeh. Modeling the effect of extrusion parameters on density of biomass pellet using artificial neural network. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture (2013). ISSN: 2195-3228

6. Tsytovich, N.A. Mekhanika gruntov. [Soil mechanics.] Moscow: Vysshaya shkola, 1979, 272 p. (in Russian).

7. Storozhev, S.V, Popov, E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniem. [Theory of metal forming.] Moscow: Mashinostroenie, 1976, 424 p. (in Russian).

8. Podkolzin, Yu.V. Formirovanie kompakta v kanale matritsy pressa. [Formation of compact in the channel of

press matrix.] Tractors and Agricultural Machinery, 2011, no. 9, pp. 43–44 (in Russian).

9. Melnikov, S.V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. [Mechanization and automation of livestock farms.] Leningrad: Kolos, 1978, 560 p. (in Russian).

10. Yagovkin, P.V. Razrabotka, issledovanie i obosnovanie nepreryvnogo rabochego protsessa shtempel'nogo briketnogo pressa: avtoref. dis. …kand. tekhn. nauk. [Development, research and validation of the continuous work process of briquetting ram press: Cand.Sci. (Eng.), diss., author's abstract.] Leningrad-Pushkin, 1982, 16 p. (in Russian).

11. Fedorenko, I.Ya. Al'ternativnaya teoriya pressovaniya kormov. [Alternative theory of feed pressing.] Bulletin of Altai State Agricultural University, 2013, no. 3, pp. 95–98 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.02.2018
Сдана в редакцию 15.02.2018
Запланирована в номер 15.03.2018

Received 15.02.2018
Submitted 15.02.2018
Scheduled in the issue 15.03.2018

Об авторах:

Подкользин Юрий Васильевич,
доцент кафедры «Менеджмент и бизнес-технологии» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), кандидат технических наук, доцент,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1569-6536
podkol45@yandex.ru

Авласенко Людмила Матвеевна,
доцент кафедры «Менеджмент и бизнес-технологии» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5860-0648
Avlas333@mail.ru

Пешхоев Иса Мусаевич,
доцент кафедры «Информационные технологии» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1), кандидат физико-математических наук, доцент,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0352-9586
peshkhoev@rambler.ru

Authors:

Podkolzin, Yury V.,
associate professor of the Management and Business Technologies Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand.Sci. (Eng.), associate professor,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1569-6536
podkol45@yandex.ru

Avlasenko, Ludmila M.,
associate professor of the Management and Business Technologies Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5860-0648
Avlas333@mail.ru

Peshkhoev, Isa M.,
associate professor of the Information Technologies Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand.Sci. (Phys.-Math.), associate professor,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0352-9586
peshkhoev@rambler.ru